

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-054802

(43)Date of publication of application : 22.02.2000

(51)Int.Cl.

F01D 5/28  
C22C 14/00  
C22F 1/18  
// C22F 1/00

(21)Application number : 10-224031

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 07.08.1998

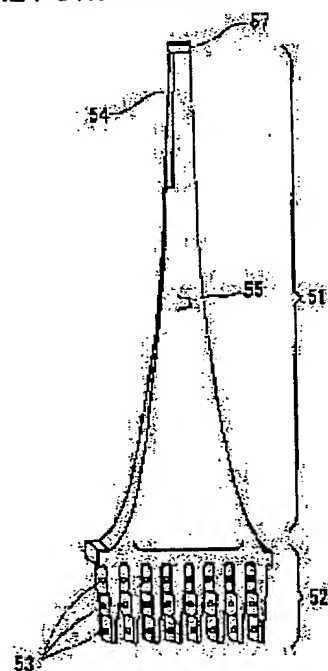
(72)Inventor : DOI HIROYUKI  
KURIYAMA MITSUO  
NAKAMURA SHIGEYOSHI  
KONNO SHINYA  
ONODA TAKESHI

## (54) STEAM TURBINE BLADE AND ITS MANUFACTURE, AND STEAM TURBINE POWER PLANT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To manufacture a steam turbine blade having proper toughness together with strength by setting the blade part length of a blade to a plurality of specified numerical values to a plurality of specified numerical values related to the rotating speed of the blade, setting the tensile strength at room temperature of a dovetail part to a specified numerical value or more, and forming the blade of a Ti-base alloy.

SOLUTION: In a final stage steam turbine blade for steam turbine low-pressure turbine, the length of a blade part 51 is set to 43 inches or more at a blade revolution of 3600 rpm, and the steam temperature is set to 538-650° C. A dovetail 52 is formed of eight forks, and the tensile strength is set to 110 kg/mm<sup>2</sup> or more. Further, a Ti-base alloy or Do-base alloy of stelite is brazed to an erosion shield 54. The blade is formed of a Ti-base alloy containing 4-8% al, 4-8% V and 1-4% Sn by weight. In the manufacture, solution treatment and aging treatment for hot forging a blade material and cooling it after heating within prescribed aging temperature and solution treatment temperature are performed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

08.08.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3666256

[Date of registration]

15.04.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-54802  
(P2000-54802A)

(43) 公開日 平成12年2月22日 (2000.2.22)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
F 0 1 D 5/28		F 0 1 D 5/28	3 G 0 0 2
C 2 2 C 14/00		C 2 2 C 14/00	Z
C 2 2 F 1/18		C 2 2 F 1/18	H
// C 2 2 F 1/00	6 5 1	1/00	6 5 1 B
	6 8 3		6 8 3

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-224031

(22) 出願日 平成10年8月7日 (1998.8.7)

(71) 出願人 000005108  
株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 土井 裕之  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 栗山 光男  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100068504  
弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

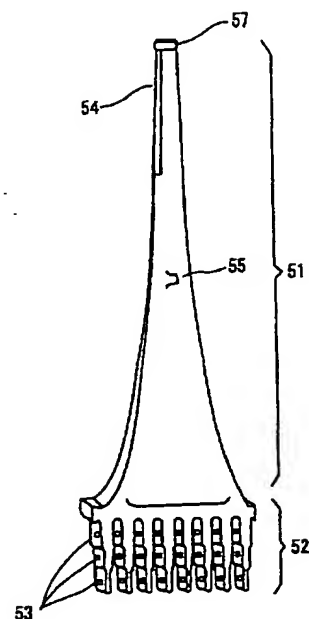
(54) 【発明の名称】 蒸気タービン翼とその製法及び蒸気タービン発電プラント

(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、45インチ以上の翼長を有する蒸気タービン翼として、特にダブティル部の引張強さが110 kg/mm<sup>2</sup>以上を有し、強度とともに適度な靱性を兼ね備えた $\alpha + \beta$ 型相からなるTi基合金製蒸気タービン翼とその製造方法及び蒸気タービン発電プラントと低圧蒸気タービンを提供するものである。

【解決手段】 翼部及び複数本のフォーク状のダブティルを有する蒸気タービン翼において、前記翼部長さが前記翼の回転数3000 rpm に対して52インチ以上又は前記回転数3600 rpm に対して43インチ以上であり、前記ダブティルの室温の引張強さが110 kg/mm<sup>2</sup>以上であるTi基合金よりなることを特徴とする。

図 5



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】翼部及び複数本のフォーク状のダブティルを有する蒸気タービン翼において、前記翼部長さが前記翼の回転数3000rpmに対して52インチ以上又は前記回転数3600rpmに対して43インチ以上であり、前記ダブティルの室温の引張強さが110kg/mm<sup>2</sup>以上であるTi基合金よりなることを特徴とする蒸気タービン翼。

【請求項2】翼部及び複数本のフォーク状のダブティルを有する蒸気タービン翼において、該翼は重量で、A14~8%、V4~8%及びSn1~4%を含むTi基合金からなり、前記ダブティルの室温の引張強さが110kg/mm<sup>2</sup>以上であることを特徴とする蒸気タービン翼。

【請求項3】翼部及び複数本のフォーク状のダブティルを有する蒸気タービン翼において、前記翼部長さが前記翼の回転数3000rpmに対して52インチ以上又は前記回転数3600rpmに対して43インチ以上であり、重量で、A14~10%、V4~10%及びSn1~5%を含むTi基合金からなることを特徴とする蒸気タービン翼。

【請求項4】Ti基合金製蒸気タービン翼の製造方法において、前記翼素材を熱間鍛造した後、本願図1に示す（時効温度、溶体化温度）で表したA(605℃、855℃)、B(590℃、790℃)、C(410℃、790℃)及びD(410℃、855℃)の4点を結ぶ範囲内で加熱後水冷する溶体化処理及び時効処理を行うことを特徴とした蒸気タービン翼の製造方法。

【請求項5】Ti基合金製蒸気タービン翼の製造方法において、前記（時効温度、溶体化温度）で表した領域が、本願図2に示すE(525℃、855℃)、F(510℃、790℃)、G(410℃、790℃)、H(410℃、855℃)の4点を結ぶ範囲内で加熱後衝風冷却する溶体化処理及び時効処理を施すことを特徴とした蒸気タービン翼の製造方法。

【請求項6】翼部とダブティルを有するTi基合金製蒸気タービン翼の製造方法において、最終熱処理前に、前記ダブティル部を最終形状に近い状態に粗加工し、次いで、本願図3に示す（時効温度、溶体化温度）で表したJ(685℃、855℃)、K(585℃、790℃)、L(410℃、790℃)、M(410℃、855℃)の4点を結ぶ範囲内で加熱後水冷する溶体化処理及び時効処理を施すことを特徴とした蒸気タービン翼の製造方法。

【請求項7】翼部とダブティルを有するTi基合金製蒸気タービン翼の製造方法において、最終熱処理前に、前記ダブティル部を最終形状に近い状態に粗加工し、次いで、本願図4に示す（時効温度、溶体化温度）で表したN(575℃、855℃)、O(560℃、790℃)、P(410℃、790℃)、Q(410℃、855℃)の4点を結ぶ範囲で加熱後衝風冷却する溶体化処

理及び時効処理を施すことを特徴とする蒸気タービン翼の製造方法。

【請求項8】請求項4~7のいずれかにおいて、前記Ti基合金が重量で、A14~8%、V4~8%及びSn1~4%を含むTi基合金からなることを特徴とする蒸気タービン翼の製造方法。

【請求項9】高圧タービン、中圧タービン及び低圧タービンを備えた蒸気タービン発電プラントにおいて、前記低圧タービンの最終段動翼は翼部と複数本のフォーク状のダブティルを有し、前記翼部長さが前記翼の回転数3000rpmに対して52インチ以上又は前記回転数3600rpmに対して43インチ以上であり、前記ダブティルの室温の引張強さが110kg/mm<sup>2</sup>以上であるTi基合金よりなることを特徴とする蒸気タービン発電プラント。

【請求項10】高圧タービン、中圧タービン及び低圧タービンを備えた蒸気タービン発電プラントにおいて、前記低圧タービンの最終段動翼は翼部と複数本のフォーク状のダブティルを有し、該翼は重量で、A14~8%、V4~8%及びSn1~4%を含むTi基合金からなり、前記ダブティルの室温の引張強さが110kg/mm<sup>2</sup>以上であることを特徴とする蒸気タービン発電プラント。

【請求項11】高圧タービン、中圧タービン及び低圧タービンを備えた蒸気タービン発電プラントにおいて、前記低圧タービンの最終段動翼は翼部と複数本のフォーク状のダブティルを有し、前記翼部長さが前記翼の回転数3000rpmに対して52インチ以上又は前記回転数3600rpmに対して43インチ以上であり、重量で、A14~10%、V4~10%及びSn1~5%を含むTi基合金からなることを特徴とする蒸気タービン発電プラント。

【請求項12】ロータシャフトと、該ロータシャフトに植設された動翼と、該動翼への水蒸気の流入を案内する静翼及び該静翼を保持する内部ケーシングを有する低圧蒸気タービンにおいて、該低圧タービンの最終段動翼は翼部と複数本のフォーク状のダブティルを有し、前記翼部長さが前記翼の回転数3000rpmに対して52インチ以上又は前記回転数3600rpmに対して43インチ以上であり、前記ダブティルの室温の引張強さが110kg/mm<sup>2</sup>以上であるTi基合金よりなることを特徴とする低圧蒸気タービン。

【請求項13】ロータシャフトと、該ロータシャフトに植設された動翼と、該動翼への水蒸気の流入を案内する静翼及び該静翼を保持する内部ケーシングを有する低圧蒸気タービンにおいて、前記動翼は左右対称に各6段以上有する複流構造を有し、最終段動翼は翼部と複数本のフォーク状のダブティルを有し、該翼は重量で、A14~8%、V4~8%及びSn1~4%を含むTi基合金からなり、前記ダブティルの室温の引張強さが110kg

／mm<sup>2</sup> 以上であることを特徴とする低圧蒸気タービン。  
 【請求項14】ロータシャフトと、該ロータシャフトに植設された動翼と、該動翼への水蒸気の流入を案内する静翼及び該静翼を保持する内部ケーシングを有する低圧蒸気タービンにおいて、前記動翼は左右対称に各8段以上有する複流構造を有し、最終段動翼は翼部と複数本のフォーク状のダブティルを有し、前記翼部長さが前記翼の回転数3000rpmに対して52インチ以上又は前記回転数3600rpmに対して43インチ以上であり、重量で、A14～10%、V4～10%及びSn1～5%を含むTi基合金からなることを特徴とする低圧蒸気タービン。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、Ti基合金製蒸気タービン翼とその製造方法に係り、特に45インチ以上の高強度長翼とその製造方法及びそれを用いた低圧蒸気タービンに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、蒸気タービン低圧最終段では、33.5インチ長翼に12Cr鋼、40インチ長翼にTi-6Al-4Vが、また、現在、50ヘルツ対応機として国内外最長の43インチ長翼用として高強度12Cr鋼が開発されているが、最終翼段の長翼化による効率向上ならびにプラントのコンパクト化の需要はますます増大し、さらなる長翼化が要求されている。そのためには、従来使用実績のあるTi-6Al-4Vに替わる軽量・高強度のチタン合金が必要不可欠である。

【0003】40インチ長翼までは、引張強さ95kg/mm<sup>2</sup>級のチタン合金で、十分長翼化に伴う遠心力の増加に対応可能であったが、さらに45インチ以上の長翼では、引張強さ110kg/mm<sup>2</sup>級のチタン合金が必要となる。引張強さ110kg/mm<sup>2</sup>以上のチタン合金としては、時効硬化性のβ型チタン合金があるが、このβ型チタン合金は靱性が低いという欠点があるため、翼全体をこの合金で製造するには問題がある。一方、靱性の高いα+β型のチタン合金では、翼のダブティルの厚肉化に伴い、溶体化処理時の冷却速度が強度を大きく左右し、小鋼塊で得られる強度も、大型品では再現できないことが多く、硬実に110kg/mm<sup>2</sup>級のチタン合金を得ることが困難であった。

【0004】また、特開平1-202389号では、α+β型の高強度Ti合金であるTi-6Al-6V-2Snの熱処理条件についてβ変態点の10～60℃下、すなわち867～917℃で溶体化を実施し、その後500～650℃で時効処理をするとされているが、薄肉の翼プロファイル部では強度は得られるものの、冷却速度の遅い厚肉ダブティル部の強度が確保できないという問題があった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、45インチ以上の翼長を有する蒸気タービン翼として、特にダブティル部の引張強さが110kg/mm<sup>2</sup>以上を有し、強度とともに適度な靱性を兼ね備えたα+β型相からなるTi基合金製蒸気タービン翼とその製造方法及び蒸気タービン発電プラントと低圧蒸気タービンを提供するものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、翼部及び複数本のフォーク状のダブティルを有する蒸気タービン翼において、前記翼部長さが前記翼の回転数3000rpmに対して52インチ以上又は前記回転数3600rpmに対して43インチ以上であり、前記ダブティルの室温の引張強さが110kg/mm<sup>2</sup>以上であるTi基合金よりなることを特徴とする。

【0007】本発明は、重量で、A14～8%、V4～8%及びSn1～4%を含むTi基合金からなり、前記ダブティルの室温の引張強さが110kg/mm<sup>2</sup>以上であることを特徴とする蒸気タービン翼にある。

【0008】本発明は、翼部長さが前記翼の回転数3000rpmに対して52インチ以上又は前記回転数3600rpmに対して43インチ以上であり、重量で、A14～10%、V4～10%及びSn1～5%を含むTi基合金からなることを特徴とする蒸気タービン翼にある。

【0009】本発明は、Ti基合金製蒸気タービン翼の製造方法において、本願図1に示す（時効温度、溶体化温度）で表したA（605℃、855℃）、B（590℃、790℃）、C（410℃、790℃）及びD（410℃、855℃）の4点を結ぶ範囲内で加熱後水冷する溶体化処理及び時効処理を行うことを特徴とすること、前記（時効温度、溶体化温度）で表した領域が、本願図2に示すE（525℃、855℃）、F（510℃、790℃）、G（410℃、790℃）、H（410℃、855℃）の4点を結ぶ範囲内で加熱後衝風冷却する溶体化処理及び時効処理を施すことを特徴とすること、最終熱処理前に、前記ダブティル部を最終形状に近い状態に粗加工し、次いで、本願図3に示す（時効温度、溶体化温度）で表したJ（685℃、855℃）、K（585℃、790℃）、L（410℃、790℃）、M（410℃、855℃）の4点を結ぶ範囲内で加熱後水冷する溶体化処理及び時効処理を施すことを特徴とすること、最終熱処理前に、前記ダブティル部を最終形状に近い状態に粗加工し、次いで、本願図4に示す（時効温度、溶体化温度）で表したN（575℃、855℃）、O（560℃、790℃）、P（410℃、790℃）、Q（410℃、855℃）の4点を結ぶ範囲で加熱後衝風冷却する溶体化処理及び時効処理を施すことを特徴とすることのいずれかからなるものである。

【0010】本発明は、高圧タービン、中圧タービン及び低圧タービンを備えた蒸気タービン発電プラントにお

いて、前記低圧タービンの最終段動翼は翼部と複数本のフォーク状のダブティルを有し、前述の蒸気タービン翼によって構成することを特徴とする。

【0011】本発明は、ロータシャフトと、該ロータシャフトに植設された動翼と、該動翼への水蒸気の流入を案内する静翼及び該静翼を保持する内部ケーシングを有する低圧蒸気タービンにおいて、前記動翼は左右対称に各6段以上有し、前記ロータシャフト中心部に初段が植設された複流構造であり、その最終段動翼は前述の蒸気タービン翼からなることを特徴とするものである。

【0012】Ti基合金は、熱間鍛造後に、 $\alpha + \beta$ 領域で加熱・保持し強制冷却（溶体化）することにより、 $\alpha$ 相と $\alpha'$ マルテンサイト二相組織が微細化・均質化し、高延性・高靱性が得られる。さらに、これに続く時効処理で $\alpha'$ マルテンサイトが $\alpha + \beta$ 相に分解し、初析 $\alpha$ 粒と時効で $\alpha$ が析出した旧 $\beta$ 粒の混粒形態を形成することにより（時効硬化）、高い強張強度や疲労強度が得られる。

【0013】溶体化温度は、Ti-6Al-6V-2Snでは $\beta$ 変態点（約927℃）以下の800～900℃の範囲が適切である。 $\beta$ 変態点以上では、結晶粒の粗大化や初析 $\alpha$ 量の減少により延性・靱性の低下を引き起こす。また、溶体化温度を低くしすぎると、熱間鍛造組織が残留するとともに初析 $\alpha$ 量が増加し、適切な強度が得られない。

【0014】続く時効温度は、500～600℃の範囲が適切である。時期温度は、高くなるほど、引張強度が低下して、延性・靱性が向上する。

【0015】一方、大型鍛造品では溶体化時の冷却速度が強度・靱性に大きく影響するため、これらの熱処理条件の最適化により、目標強度を確保する。

【0016】(1) 低圧蒸気タービンロータシャフトは重量で、C0.2～0.3%、Si0.1%以下、Mn0.2%以下、Ni3.2～4.0%、Cr1.25～2.25%、Mo0.1～0.6%、V0.05～0.25%を有する全焼戻しパーナイト組織を有する低合金鋼が好ましく、前述の高圧、中圧ロータシャフトと同様の製法によって製造されるのが好ましい。特に、Si量は0.05%以下、Mn0.1%以下の他P、S、As、Sb、Sn等の不純物を極力低めた原料を用い、総量0.025%以下とするように用いられる原材料の不純物の少ないものを使用するスーパークリーン化した製造とするのが好ましい。P、S各0.010%以下、Sn、As0.005%以下、Sb0.001%以下が好ましい。

【0017】(2) 低圧タービン用プレートの最終段以外及びノズルは、C0.05～0.2%、Si0.1～0.5%、Mn0.2～1.0%、Cr1.0～1.3%、Mo0.04～0.2%を有する全焼戻しマルテンサイト鋼が好ましい。

【0018】(3) 低圧タービン用内部及び外部ケー

ングともにC0.2～0.3%、Si0.3～0.7%、Mn1%以下を有する炭素鋼が好ましい。

【0019】(4) 主蒸気止め弁ケーシング及び蒸気加減弁ケーシングはC0.1～0.2%、Si0.1～0.4%、Mn0.2～1.0%、Cr8.5～10.5%、Mo0.3～1.0%、W1.0～3.0%、V0.1～0.3%、Nb0.03～0.1%、N0.03～0.08%、B0.0005～0.003%を含む全焼戻しマルテンサイト鋼が好ましい。

10 【0020】(5) 低圧タービンの最終段動翼として前述のTi合金が用いられ、特に43インチ又は52インチ以上の長さに対して重量でAl4～8重量%、V4～8重量%及びSn1～4%を有するTi合金が用いられ、前述の熱処理が施され、ダブティル部で110kg/mm<sup>2</sup>以上の引張強さを有するものが好ましい。特に、Al5～7%、V5～7%及びSn1～3%、Fe0.2～1.5%、O0.20%以下、Cu0.3～1.5%、残Tiからなる合金が好ましい。

【0021】

20 【発明の実施の形態】〔実施例1〕重量で、Al5.89%、V5.98%、Fe0.33%、O0.16%、Sn2.31%、Cu0.40%、残部Tiからなる合金を用いた。初析 $\alpha$ 相は溶体化温度が800℃では48～55%、850℃では37～46%、900℃では22～28%であった。

【0022】45インチ以上長翼の最も厚肉部となるダブティル形状素材の鍛造品（400mm、190mm、110mm）を作製し、800～900℃×1時間の溶体化処理及び500～600℃×4時間の時効処理を行い、肉厚中央部及び1/4t部より試験片を採取し、引張試験及び衝撃試験を行った。なお、溶体化処理における冷却は、水冷及び衝風冷却の2通りとした。冷却速度による強度は、試験片採取位置により評価した。

【0023】表1に溶体化時水冷材の1/4t部の引張強さ及び衝撃吸収エネルギーを、表2に1/2t部の引張強さ及び衝撃吸収エネルギーを示す。冷却速度の早い1/4t部では、いずれの熱処理でも目標強度110kg/mm<sup>2</sup>以上を満足するが、時効温度の上昇に伴って、強度は低下し、裕度が小さくなる。一方、冷却速度の遅い1/2t部では、800と500℃、850℃と500℃及び600℃の溶体化と時効温度の組合せ以外の条件では、目標強度110kg/mm<sup>2</sup>以上を満足しない。また、冷却速度の早い1/4t部の結果と比較すると、溶体化温度が低いほど冷却速度の影響が小さく、溶体化温度が高いほど時効温度の影響が小さくなっている。一方、衝撃吸収エネルギーについては、顕著な差は見られず、強度確保による破壊靱性値の低下は小さいものと考えられる。これらの結果より、目標強度を得るための時効温度と溶体化温度の関係を整理すると、溶体化時冷却の場合、図1に示すハッチング部、すなわち、A（605

7  
℃, 855℃), B (590℃, 790℃), C (41 \* [0024]  
0℃, 790℃), D (410℃, 855℃) の4点を 【表1】  
\*  
結ぶ範囲が好適である。

表 1

溶体化処理	時効処理	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	衝撃吸収エネルギー (kg-m)
800℃×1h, WQ	500℃×4h	118.7	1.61
	600℃×4h	110.0	1.78
850℃×1h, WQ	500℃×4h	118.2	1.74
	600℃×4h	113.6	1.72
900℃×1h, WQ	500℃×4h	116.2	2.13
	600℃×4h	112.2	1.76

注) 肉厚1/4t部の機械的性質

[0025]

※ ※ [表2]

表 2

溶体化処理	時効処理	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	衝撃吸収エネルギー (kg-m)
800℃×1h, WQ	500℃×4h	117.2	1.62
	600℃×4h	109.2	1.70
850℃×1h, WQ	500℃×4h	113.5	1.70
	600℃×4h	110.1	1.68
900℃×1h, WQ	500℃×4h	106.9	2.12
	600℃×4h	105.9	1.78

注) 肉厚1/2t部の機械的性質

【0026】表3は、衝風冷却時の1/2t部（冷却速度の最も遅い部分）の引張強さ及び衝撃吸収エネルギーを示す。水冷材同様、目標強度を得るための時効温度と溶体化温度の関係を整理すると、溶体化時衝風冷却の場合、図2に示すハッチング部、すなわち、E (525℃, 855℃), F (510℃, 790℃), G (410℃, 790℃), H (410℃, 855℃) の4点を結ぶ範囲が好適である。

【0027】800℃衝風冷却材の0.02% 耐力は1★

表 3

溶体化処理	時効処理	部位	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	衝撃吸収エネルギー (kg-m)
800℃×1h, WQ	500℃×4h	1/4t	112.8	1.83
		1/2t	110.8	1.88
	600℃×4h	1/4t	108.3	1.85
		1/2t	104.0	1.81
850℃×1h, WQ	500℃×4h	1/4t	112.0	1.88
		1/2t	110.4	1.92
	600℃×4h	1/4t	109.3	1.87
		1/2t	108.7	1.94

【0029】一方、厚内部の冷却速度を増加させる方法として、熱処理前にタブティルの粗加工、すなわちスリットを加工しておく方法がある。この方法では、スリットの間隔が1/4tより小さく、5かつ10個程度はい

★/4t部で93~101kg/mm<sup>2</sup>, 1/2t部で93~100kg/mm<sup>2</sup>, 0.2%耐力は1/4t部で103~106kg/mm<sup>2</sup>, 1/2t部で96~107kg/mm<sup>2</sup>であり、伸び率はいずれも15~17%, 絞り率は1/4t部で22~43%, 1/2t部で40~50%であった。Hv硬さは335~356であった。

[0028]

[表3]

るため、前表面から冷却され、全体の冷却速度は加工前の状態の1/4t部並み以上になる。したがって、表1の結果から、目標強度を得るための時効温度と溶体化温度の関係を整理すると、スリット加工後、溶体化、水冷

する場合、図3に示すハッチング部、すなわち、J (685℃, 855℃), K (585℃, 790℃), L (410℃, 790℃), M (410℃, 855℃) の4点を結ぶ範囲の熱処理が可能となる。溶体化時衝風冷却の場合も同様で、表3の結果から、目標強度を得るための時効温度と溶体化温度の関係を整理すると、スリット加工後、溶体化、衝風冷却する場合、図4に示すハッチング部、すなわち、N (575℃, 855℃), O (560℃, 790℃), P (410℃, 790℃), Q (410℃, 855℃) の4点を結ぶ範囲の熱処理が可能となる。

【0030】図5は3600rpm用翼部長さ43インチの蒸気温度538~650℃蒸気タービン用の低圧タービンの最終段蒸気タービン翼の斜視図である。ダブルティール52は8本のフォークによって形成され、翼長46インチにおいては9本となる。本実施例では上述のダブルティール部の引張強さが110kg/mm<sup>2</sup>以上のものが用いられる。53はピンを挿入する穴であり、54はエロージョンシールドでTi基合金又はステライトのCo基合金がろう付される。57はコンティニューアスカバーである。55はタイボスである。

【0031】【実施例2】図6は本実施例1の蒸気タービン翼を用いた3600rpm低圧タービンの断面図である。低圧タービンは2基タンデムに結合され、同じ構造を有している。各々動翼41は左右に8段あり、左右ほぼ対称になっており、また動翼に対応して静翼42が設けられる。最終段の動翼長さは前述の如く43インチのTi基合金が使用され、いずれもダブルティノン、鞍型ダブルティールを有し、ノズルボックス44は複流型である。ロータシャフト43はNi3.75%, Cr1.75%, Mo0.4%, V0.15%, C0.25%, Si0.05%, Mn0.10%, 残Feからなるスーパークリーン材の全焼戻しベーナイト組織を有する鍛鋼が用いられる。最終段以外の動翼及び静翼にはいずれもMoを0.1%含有する12%Cr鋼が用いられる。内外部ケーシング材にはC0.25%の铸鋼が用いられる。本実施例における軸受43での中心間距離は7500mmで、静翼部に対応するロータシャフトの直径は約1280mm

m、動翼植込み部での直径は2275mmである。このロータシャフト直径に対する軸受中心間の距離は約5.9である。

【0032】本実施例の低圧タービンは動翼植込み部の軸方向の幅が初段~3段、4段、5段、6~7段及び8段の4段階で徐々に大きくなっており、最終段の幅は初段の幅に比べ約2.5倍と大きくなっている。

【0033】また、静翼部に対応する部分の直径は小さくなっており、その部分の軸方向の幅は初段動翼側から5段目、6段目及び7段目の3段階で徐々に大きくなっており、最終段側の幅は初段側に対して約1.9倍大きくなっている。

【0034】本実施例における動翼の翼部長さは初段から最終段になるに従って各段で長くなっており、蒸気タービンの出力によって初段から最終段の長さが90~1270mmで、8段又は9段で、各段の翼部長さは下流側が上流側に対して隣り合う長さで1.3~1.6倍の割合で長くなっている。

【0035】動翼の植込み部は静翼に対応する部分に比較して直径が大きくなっており、その幅は動翼の翼部長さの大きい程その植込み幅は大きくなっている。その幅の動翼の翼部長さに対する比率は初段から最終段で0.15~0.19であり、初段から最終段になるに従って段階的に小さくなっている。

【0036】また、各静翼に対応する部分のロータシャフトの幅は初段と2段目との間から最終段とその手前との間までの各段で段階的に小さくなっている。その幅の動翼の翼部長さに対する比率は0.25~1.25で上流側から下流側になるに従って小さくなっている。

【0037】本実施例の他、高圧蒸気タービン及び中圧蒸気タービンへの蒸気入口温度610℃、2基の低圧蒸気タービンへの蒸気入口温度385℃とする1000MW級大容量発電プラントに対しても同様の構成とすることができる。

【0038】表4はこの発電プラントに用いた主要部の材料組成を示すものである。

【0039】

【表4】



主 要 部 品 名		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	N	Co	B	その他	Cr 当量	備考
高圧部 中圧部 高中圧部	ロータシャフト	0.11	1.00	0.52	0.48	10.88	0.19	2.50	0.21	0.07	0.019	2.70	0.015	—	5.11(±0.5)	標準
	ブレード(初段)	0.10	0.04	0.47	0.33	11.01	0.15	2.52	0.19	0.08	0.020	2.81	0.018	—	5.07(±0.10)	※
	ノズル(初段)	0.09	0.04	0.35	0.36	10.50	0.14	2.54	0.16	0.06	0.015	2.67	0.013	—	4.54(±0.1)	※
	内部ケーシング	0.12	0.19	0.30	0.58	8.95	0.60	1.58	0.18	0.06	0.040	—	0.002	—	7.57	標準
	外部ケーシング	0.12	0.21	0.32	0.25	1.51	1.22	—	0.22	—	—	—	0.005	Ti 0.05	—	※
	内部ケーシング継付ボルト	0.11	0.19	0.50	0.60	10.82	0.23	2.40	0.23	0.08	0.021	3.00	0.020	—	4.72	標準
低圧部	ロータ	0.25	0.03	0.04	3.68	1.75	0.38	—	0.13	—	—	—	—	—	—	新規
	ブレード(最終段以外)	0.11	0.20	0.33	0.39	12.07	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	※
	ノズル	0.12	0.18	0.59	0.43	12.13	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	※
	内部ケーシング	0.25	0.51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	新規
	外部ケーシング	0.24	0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	※
	主蒸気止動弁 ケーシング	0.19	0.19	0.42	0.55	8.98	0.30	1.82	0.20	0.05	3.042	—	0.002	—	8.56	標準
蒸気加温弁 ケーシング		0.12	0.21	0.57	0.63	9.00	0.63	1.70	0.17	0.05	0.038	—	0.001	—	7.97	※

表  
4

【0040】〔実施例3〕図7は3600rpmの低圧タービン及び図8はそのロータシャフトの断面図である。

【0041】低圧タービンは1基で主蒸気538℃/566℃の高中圧にタンデムに結合される。動翼41は左右に6段あり、左右は対称になっており、また動翼に対応して静翼42が設けられる。最終段の動翼長さは46インチあり、Ti基合金が使用される。Ti基合金は実施例1に示す時効硬化処理が施され、重量でAl6%、V6%及びSn2%を含むものである。ロータシャフト43はNi3.75%、Cr1.75%、Mo0.4%、V0.15%、Co0.25%、Si0.05%、Mn0.10%、残Feからなるスーパークリーン材の全焼戻しベーナイト組織を有する鍛鋼が用いられる。最終段とその前段以外の動翼及び静翼にはいずれもMoを0.1%含有する12%Cr鋼が用いられる。内外部ケーシング材にはCo0.25%の鋳鋼が用いられる。本実施例における軸受43での中心間距離は7000mmで、静翼部に対応するロータシャフトの直径は約800mm、動翼植込み部での直径は各段同じである。静翼部に対応するロータシャフト直径に対する軸受中心間の距離は約8.8である。

【0042】低圧タービンは動翼植込み付根部の軸方向の幅が初段が最も小さく、下流側に従って2、3段が同等、4段、5段が同等で4段階で徐々に大きくなっており、最終段の幅は初段の幅に比べ6.2~7.0倍と大きくなっている。2、3段は初段の1.15~1.40倍、4、5段が2、3段の2.2~2.6倍、最終段が4、5段の2.8~3.2倍となっている。付根部の幅は末広がり、延長線とロータシャフトの直径とを結ぶ点で示す。

【0043】本実施例における動翼の翼部長さは初段の4"から46"の最終段になるに従って各段で長くなっており、蒸気タービンの出力によって初段から最終段の長さが100~1270mmの範囲内で、最大で8段で、各段の翼部長さは下流側が上流側に対して隣り合う長さ

で1.2~1.9倍の範囲内で長くなっている。

【0044】動翼の植込み付根部は静翼に対応する部分に比較して直径が大きく末広がりになっており、その幅は動翼の翼部長さの大きい程その植込み幅は大きくなっている。その幅の動翼の翼部長さに対する比率は初段から最終段の前までが0.30~1.5であり、その比率は初段から最終段の前になるに従って徐々に小さくなっており、後段の比率はその1つ手前のものより0.15~0.40の範囲内で徐々に小さくなっている。最終段は0.50~0.65の比率である。

【0045】本実施例の他、高中圧蒸気タービンの蒸気入口温度610℃以上、低圧蒸気タービンへの蒸気入口温度約400℃及び出口温度が約60℃とする1000MW級大容量発電プラントに対しても同様の構成とすることができる。

【0046】本実施例における高温高圧蒸気タービン発電プラントは主としてボイラ、高中圧タービン、低圧タービン、復水器、復水ポンプ、低圧給水加熱器系統、脱気器、昇圧ポンプ、給水ポンプ、高圧給水加熱器系統などより構成される。すなわち、ボイラで発生した超高温高圧蒸気は高圧側タービンに入り動力を発生させたのち再びボイラにて再熱されて中圧側タービンへ入り動力を発生させる。この高中圧タービン排気蒸気は、低圧タービンに入り動力を発生させた後、復水器にて凝縮する。この凝縮液は復水ポンプにて低圧給水加熱器系統、脱気器へ送られる。この脱気器にて脱気された給水は昇圧ポンプ、給水ポンプにて高圧給水加熱器へ送られ昇温された後、ボイラへ戻る。

【0047】ここで、ボイラにおいて給水は節炭器、蒸発器、過熱器を通して高温高圧の蒸気となる。また一方、蒸気を加熱したボイラ燃焼ガスは節炭器を出た後、空気加熱器に入り空気を加熱する。ここで、給水ポンプの駆動には中圧タービンからの抽気蒸気にて作動する給水ポンプ駆動用タービンが用いられている。

【0048】このように構成された高温高圧蒸気タービンプラントにおいては、高圧給水加熱器系統を出た給水の温度が従来の火力プラントにおける給水温度よりもはるかに高くなっているため、必然的にボイラ内の節炭器を出た燃焼ガスの温度も従来のボイラに比べてはるかに高くなって来る。このため、このボイラ排ガスからの熱回収をはかりガス温度を低下させないようにする。

【0049】尚、本実施例では高中圧タービン及び1基の低圧タービンを1台の発電機タンデムに連結し発電するタンデムコンバウンドダブルフロー型発電プラントに構成したものである。別の実施例として、2台の低圧タービンをタンデムに連結し、出力1050MW級の発電においても本実施例と同様に構成できるものである。その発電機シャフトとしてはより高強度のものが用いられる。特に、C0.15~0.30%、Si0.1~0.3%、Mn0.5%以下、Ni3.25~4.5%、Cr2.05~3.0%、Mo0.25~0.60%、V0.05~0.20%を含有する全焼戻しパーナイト組織を有し、室温引張強さ93kgf/mm<sup>2</sup>以上、特に100kgf/mm<sup>2</sup>以上、50%FATTが0℃以下、特に-20℃以下とするものが好ましく、21.2KGにおける磁化力985AT/cm以下とするもの、不純物としてのP、S、Sn、Sb、Asの総量を0.025%以下、Ni/Cr比を2.0以下とするものが好ましい。

【0050】前述の表4は本実施例の高中圧タービン及び低圧タービンの主要部に用いた化学組成(重量%)を示す。本実施例においては、高圧側及び中圧側とを一体にした高中圧一体ロータシャフトを前述のマルテンサイト鋼を使用した他は表3のものをを用い、全部フェライト系の結晶構造を有する熱膨張係数 $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ のものにしたので、熱膨張係数の違いによる問題は全くなかった。

【0051】高圧、中圧又は高中圧タービンのロータシャフトとして蒸気温度620℃以上に対しては、実施例2の材料に用いることができる。本実施例では、耐熱鋳鋼を電気炉で30トン溶解し、カーボン真空脱酸し、金型鑄型に鑄込み、鍛伸して電極棒を作製し、この電極棒として鋳鋼の上部から下部に溶解するようにエレクトロスラグ再溶解し、ロータ形状(直径1450mm、長さ5000mm)に鍛伸して成型した。この鍛伸は、鍛造割れを防ぐために、1150℃以下の温度で行った。またこの鍛鋼を焼鈍熱処理後、1050℃に加熱し水噴霧冷却焼入れ処理、570℃及び690℃で2回焼戻しを行い、所定の形状に切削加工によって得られるものである。更に、軸受部へはCr-Mo低合金鋼の肉盛溶接層が施される。

【0052】本実施例におけるタンデムに結合した2台の低圧タービンを備えた蒸気タービン発電プラント用低圧タービンは合計の軸受間距離が13.9mであり、低

圧タービンの最終段動翼の翼部長さに対するタンデムに結合した2台の低圧タービンの軸受間距離の比が16.3であり、またその発電プラントの定格出力(MW)に対するタンデムに結合した2台の低圧タービンの軸受間距離の合計距離(mm)の比が23.1である。

【0053】本実施例における高圧タービンと中圧タービンとを一体にした高中圧一体タービン及び1台の低圧タービンを備えた蒸気タービン発電プラント用低圧タービンは軸受間距離が約6mであり、その低圧タービンの最終段動翼の翼部長さに対する比が5.5であり、また1台の低圧タービンの軸受間距離の発電プラントの定格出力(MW)に対する1台の低圧タービンの軸受間距離(mm)の比が10.0である。

【0054】本実施例における高圧、中圧、高中圧一体型ロータシャフトはいずれのロータシャフトにおいても中心孔を有しているが、特に、P0.010%以下、S0.005%以下、As0.005%以下、Sn0.005%以下、Sb0.003%以下とすることによりいずれの実施例においても高純化によって中心孔をなくすことができる。

【0055】本実施例の発電プラントは3000rpmに対して適用することができ、最終段プレートの翼長は52インチ又は56インチに適用できる。

【0056】

【発明の効果】本発明により、Ti-6Al-6V-2Sn合金の大型鍛造品で目標引張強さ110kg/mm<sup>2</sup>以上が確保でき、3600rpmに対し、43インチ以上、3000rpmに対して50インチ以上の蒸気タービン長翼が可能となり、より高効率の発電プラントが達成される。

【図面の簡単な説明】

【図1】溶体化水冷材の目標の引張強さを得る時効温度と溶体化温度の関係を示す図。

【図2】溶体化衝風冷却材の目標の引張強さを得る時効温度と溶体化温度の関係を示す図。

【図3】ダブル粗加工後溶体化水冷材の目標の引張強さを得る時効温度と溶体化温度の関係を示す図。

【図4】ダブル粗加工後溶体化衝風冷却材の目標の引張強さを得る時効温度と溶体化温度の関係を示す図。

【図5】蒸気タービン翼の斜視図。

【図6】低圧蒸気タービンの断面図。

【図7】低圧蒸気タービンの断面図。

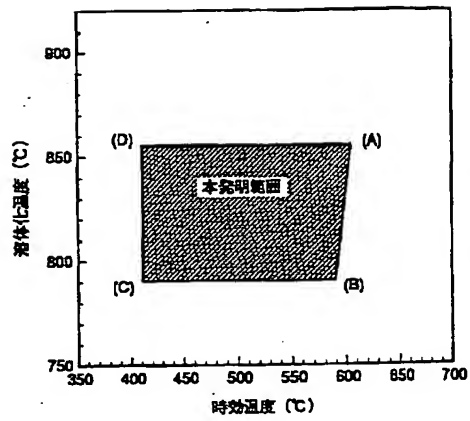
【図8】低圧蒸気タービン用ロータシャフトの断面図。

【符号の説明】

41…動翼、42…静翼、43…軸受、44…ロータシャフト、51…翼部、52…ダブル、53…穴、54…エロージョンシールド、55…タイボス、56…溶接部、57…コンティニュースカバー。

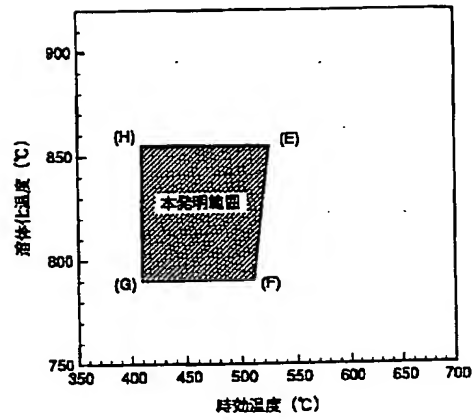
【図1】

図 1



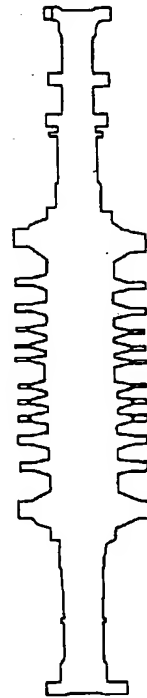
【図2】

図 2



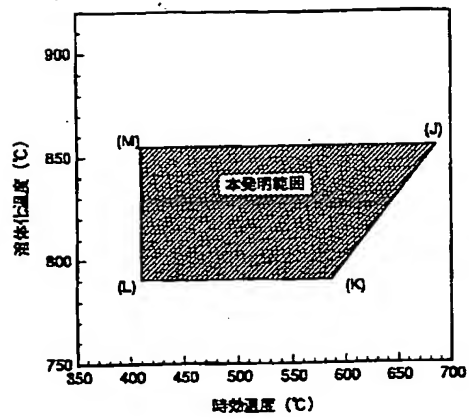
【図8】

図 8



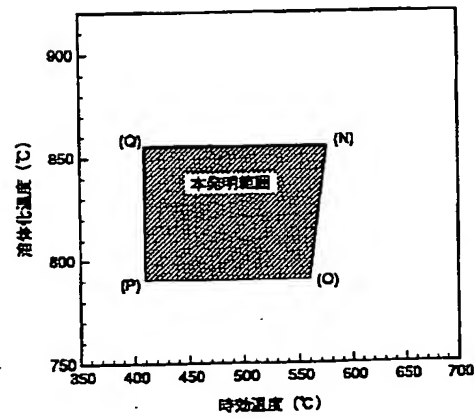
【図3】

図 3

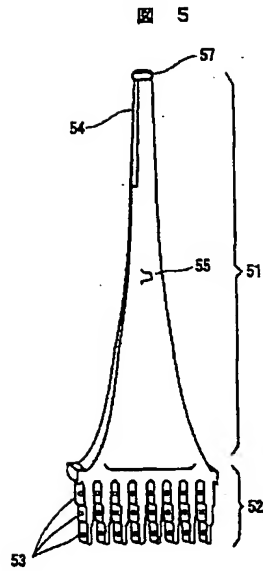


【図4】

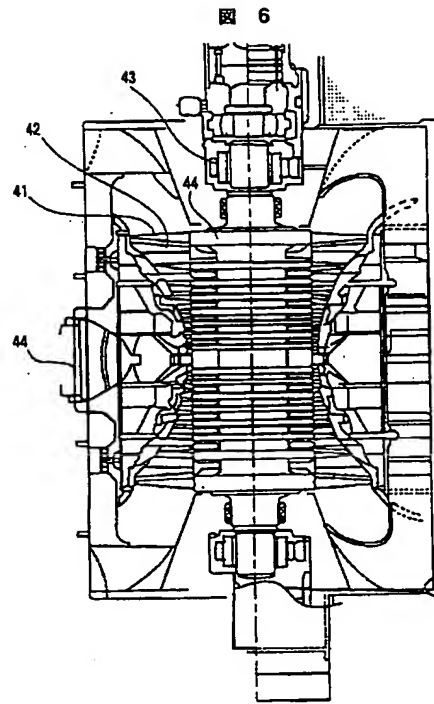
図 4



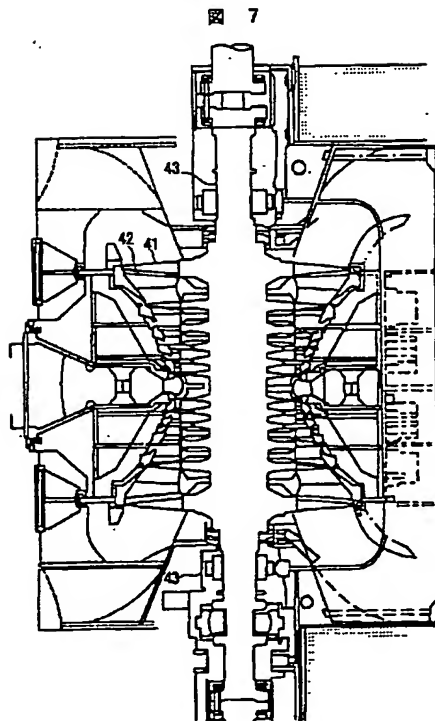
【図5】



【図6】



【図7】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	キーワード(参考)
C 2 2 F 1/00	6 8 4	C 2 2 F 1/00	6 8 4 C
	6 9 1		6 9 1 B
	6 9 2		6 9 2 A

(72)発明者 中村 重義  
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株  
 式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 今野 晋也  
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株  
 式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 小野田 武志  
 茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会  
 社日立製作所日立工場内

Fターム(参考) 3G002 EA06